

## ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА РАДІОВИМІРЮВАНЬ

УДК 669.1;53.082.7

### АВТОМАТИЗОВАНА УСТАНОВКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОЇ СПРИЙНЯТЛИВОСТІ КРИЦЬ ТА СТОПІВ

*Сніжної Г.В., к.ф.-м.н. доцент; Жавжаров Є.Л, к.ф.-м.н., доцент  
Національний технічний університет, м. Запоріжжя, Україна*

#### Вступ

Існує достатньо велика кількість методів вимірювання магнітних властивостей слабомагнітних криць та стопів, кожен з яких має низку переваг і недоліків [1]. Для вимірювання магнітної сприйнятливості, яка має високу інформативність при проведенні досліджень структурного стану матеріалів, широко використовують метод Фарадея. Досліджуваний зразок при цьому розміщують в зону постійного градієнта магнітного поля  $H \frac{dH}{dx}$  і вимірюють силу, яка діє на зразок. Найчастіше для вимірювання сили використовують маятникові магнітні терези, в яких зразок при його взаємодії з градієнтним магнітним полем електромагніту переміщується в горизонтальному напрямку. Особливістю різних установок, в основі яких лежить метод Фарадея, є спосіб реєстрації величини відхилення від нульового положення зразка, наприклад, магнітометричні терези з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми [2] або з фотоелектричною реєстрацією нульового положення [3]. Однак зміна величини магнітного поля, що діє на зразок, реєстрація нульового положення (електромагнітна компенсація) здійснюються вручну. Це займає багато часу при виконанні досліджень, тому актуальною є розробка і застосування автоматизованої системи управління експериментом з наступною реєстрацією вимірювань в електронному вигляді. Це дозволило б суттєво зменшити час дослідження та запобігти похибок, зумовлених «людським» фактором.

#### Схема установки

До автоматизації установка являла собою магнітометричні терези з уніполярно-астатичною системою і механіко-магнітним зачепленням призми (рис.1). Магнітометрична установка містить кварцовий стрижень 1, підвішений на біфілярі 2, уніполярний магнетик 3 з лезом 4, дзеркало 5, ампулу 6 для розміщення еталонного зразка сталі; демпфера 7, компенсаційну котушку 8 з магнетиком 9, шкали 10 з освітлювачем 11, підвісу 12. Уніполярний магнетик 3 є однополюсний магнетик, який представляє собою два магнітних паралелепіпеда, які з'єднані однаковими полюсами з метою

уникнення впливу зовнішніх магнітних полів.

Спосіб дії установки такий: ампула 6 з зразком масою  $m_{зр}$  розміщується в постійному градієнтному магнітному полі  $H \frac{dH}{dx}$ . Під дією магнітного поля  $H$ , де  $H$  може приймати значення в інтервалі від 2 до  $8 \cdot 10^5$  А/м, ампула 6 зі зразком зміщується.

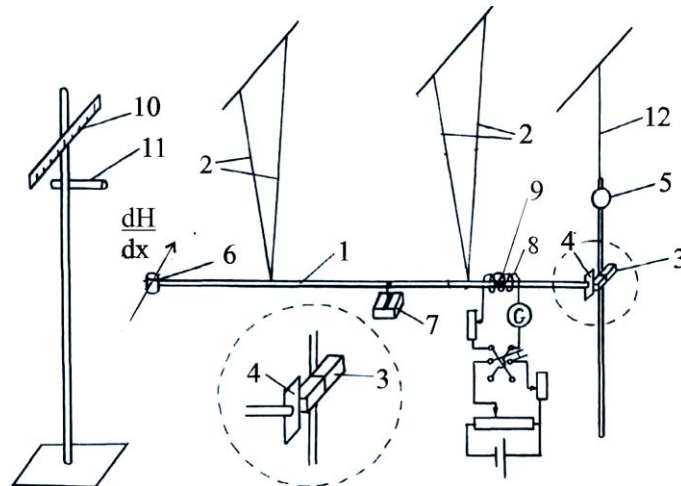


Рис.1. Магнітометрична установка для визначення парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості до автоматизації

Поступальний рух стрижня 1 через магнітне зчеплення леза 4 з магнетиком 3 переходить в обертальний рух підвісу 12, на якому розташоване дзеркало 5. Від освітлювача 11 падає промінь світла на дзеркало 5, від якого відбивається і падає на шкалу 10. Для повернення світлового променя на шкалі в нульове положення використовують компенсаційну котушку 8, в якій знаходиться магнетик 9, прикріплений до стрижня 1. При цьому вимірюється величина компенсаційного струму  $i_{зр}$ , який подається на компенсаційну котушку 8.

В установці, представленій на рис. 1, автоматизації підлягали спосіб реєстрації величини відхилення від нульового положення зразка, керування струмом компенсації та величиною магнітного поля, діючого на зразок. При модернізації установки був видалений магнітно-механічний зв'язок стрижня з підвісом 12 (рис. 1). Визначення зміщення стрижня виконується безконтактно – на основі визначення зміни частоти  $LC$ -генератора 5 (рис. 2). Роль датчика зміщення зразка виконує осердя 3 котушки індуктивності 4, яке закріплене на рухомому стрижні 1. Виконавчий пристрій здійснює поступову зміну силового магнітного поля, а в залежності від зміни частоти, яка відповідає зміщенню стрижня від положення рівноваги подає сигнал «компенсації зміщення» на компенсаційну котушку 8.

Функціональна блок схема розробленої автоматизованої установки для вимірювання магнітної сприйнятливості наведена на рис. 3.

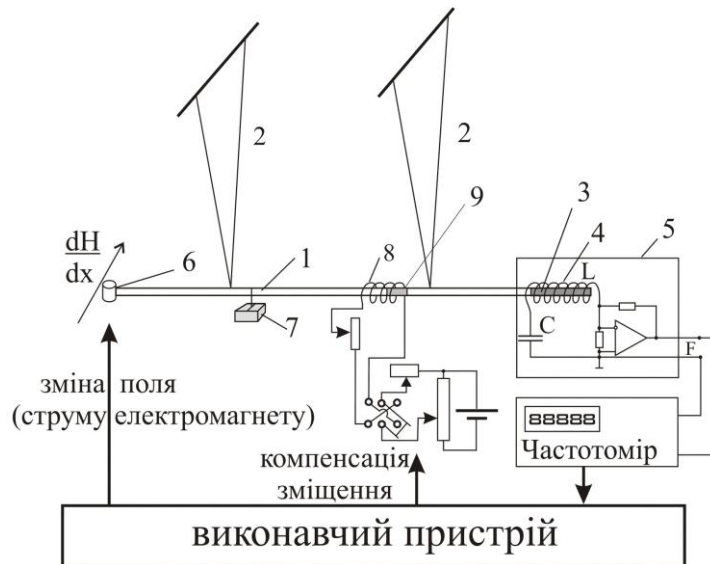


Рис.2. Автоматизована магнітометрична установка

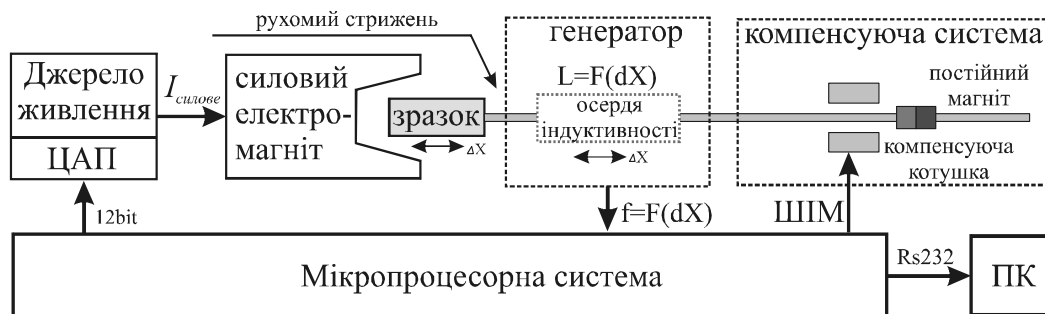


Рис.3. Функціональна блок-схема установки для автоматичного управління процесом вимірювання магнітної сприйнятливості

Основою установки є мікропроцесорна система, що базується на восьмибітних мікроконтролерах AVR фірми ATMEL. Мікропроцесорна система забезпечує автоматичну зміну струму обмотки силового магніту, підбір струму обмотки котушки для компенсації зміщення зразка від положення рівноваги та передачу цих значень на комп'ютер. Силовий електромагніт живиться від спеціально розробленого високостабілізованого джерела струму і дозволяє створювати в щілині для зразків напруженість магнітного поля до  $8 \cdot 10^5$  А/м. Величина струму силового магніту задається мікропроцесорною системою у 12-бітному цифровому коді. При точності перетворення ЦАП  $\pm 1$  LSB точність задавання струму знаходиться на рівні  $\pm 0.024\%$ , що складає  $\pm 4.8$  мА для максимального струму 20 А.

#### Алгоритм роботи установки

Алгоритм роботи установки наведено на рис. 4. На початку роботи мікропроцесорна система виконує ініціалізацію початкового стану, а саме встановлює струми силового електромагніта і компенсаючої котушки на нульовому рівні задаванням цифрового коду DAC= «0» для ЦАП та сигналу PWM=0 для компенсаючої котушки. Далі для роботи в автоматичному

режимі потрібно встановити зразок і натиснути на клавіатурі кнопки «Memory» і «Start». Перша кнопка заносить у пам'ять поточну частоту генератора, яка відповідає нульовому положенню зразка, друга розпочинає процедуру зміни струму  $I_{\text{силове}}$ .

Якщо була натиснута кнопка «Start», установка розпочинає збільшувати струм силового електромагніту поступовою зміною цифрового коду для ЦАП. Під дією магнітного поля зразок, в залежності від його магнетних властивостей, втягується або виштовхується з зазору магніту. На першому кроці зміни струму  $I_{\text{силове}}$  система визначає полярність напруги на компенсуючій котушці. Зміну положення зразка мікропроцесорна система визначає за зміною частоти генератора, пов'язаного із рухомим стрижнем. При частоті генератора 300 кГц чутливість датчика складає  $\sim 250$  Гц/мкм. Залежно від величини та знаку зміни поточної частоти генератора  $F_c$  від зразкової частоти, що відповідає нульовому положенню, мікропроцесорна система формує сигнал для встановлення необхідної полярності напруги та широтно-імпульсний сигнал ШІМ (8 кГц) для завдання величини напруги для компенсуючого зміщення зразку в котушці.

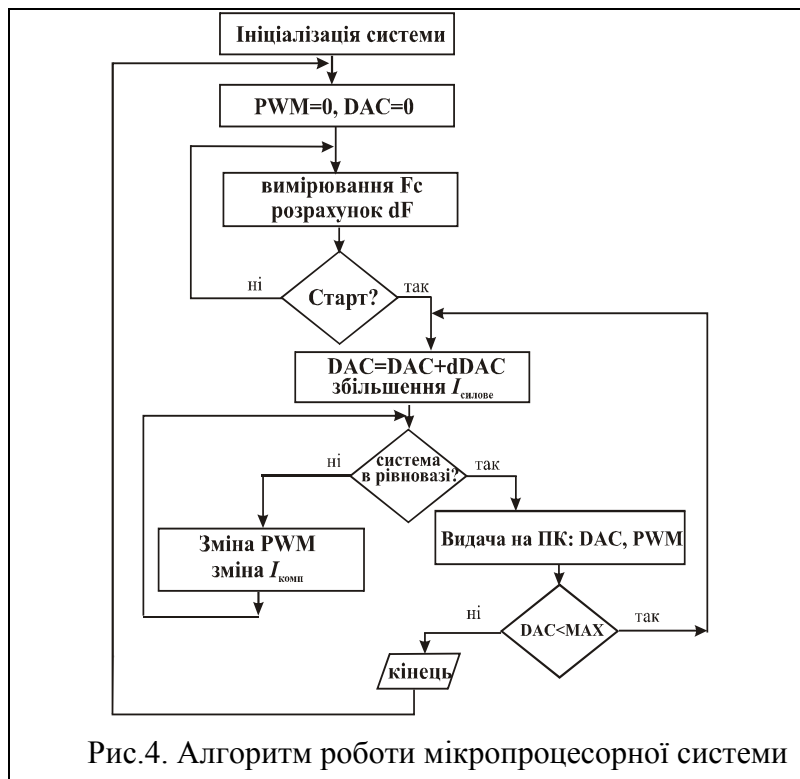
При досяганні положення рівноваги зразку мікропроцесорна система виконує посилку даних (числове значення DAC та відповідного йому сигналу PWM) на персональний комп'ютер, де відбувається запис даних у текстовий файл. Далі мікропроцесорна система збільшує поточне значення

струму  $I_{\text{силове}}$  через збільшення сигналу DAC, і увесь процес повторюється. Після досягнення максимального заданого струму  $I_{\text{силове}}$  система переходить у початковий стан через плавну зміну струму до нуля.

Мікропроцесорна система передає дані на ПК за протоколом RS232 через систему гальванічної розв'язки та узгодження рівнів сигналів, виконану на перетворювачі фірми MAXIM.

Так, наприклад, для сталі 140ХГ7 зразок мав

масу  $m_{\text{зр}} = 147.9$  мг. Під дією магнітного поля  $H = 2.55 \cdot 10^5$  А/м він змістився і для його повернення у вихідне положення був прикладений компенса-



ційний струм  $i_{\text{сд}}=9.4$  мА. Для знаходження парамагнітної питомої магнітної сприйнятливості  $\chi_0$  зразка використовували відоме для солі Мора табличне значення магнітної сприйнятливості  $\chi_{\text{мора}}=3.2 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Для солі Мора масою  $m_{\text{мора}}=65$  мг компенсаційний струм становив  $i_{\text{мора}}=3.78$  мА. Парамагнітна питома магнітна сприйнятливість  $\chi_0$  сталі 140ХГ7 становила  $3.5 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг. Відносна похибка вимірювань складала 2÷3%.

### **Висновки**

Розроблена установка дозволяє автоматично отримувати залежність струму компенсації зміщення зразка від струму силового магнету у вигляді електронного текстового файлу на комп'ютері. Час отримання сукупності експериментальних даних залежить від кількості точок, діапазону вимірювання і складає в середньому до 10 секунд на одне вимірювання.

На підставі аналізу експериментальної установки можна зазначити, що запропонована конструкція дозволяє замінити вузол із механіко-магнітним зачепленням (для передачі поступального руху стрижня 1 в обертний рух підвісу 12 (рис.1)) на безконтактний ВЧ перетворювач (рис. 2) та суттєво поліпшити процес отримання експериментальної залежності струму компенсації котушки від струму електромагніту, необхідної для розрахунку магнітної сприйнятливості.

Автоматизована установка була апробована на еталонних зразках (сіль Мора, криця Гадфільда та ін.) та використана для дослідження аустенітних хромонікелевих та високомарганцевистих криць [4].

### **Література**

1. Чечерников В.И. Магнитные измерения / В.И. Чечерников. – М.: Московский университет, 1969. – 387 с.
2. Мирошниченко Ф.Д. Магнитометрические весы с униполярно-астатической системой и механико-магнитным зацеплением призмы / Ф.Д. Мирошниченко, В.Л. Снежной // Приборостроение.- Киев.- изд.«Техника».- 1966.- №2.- С.48-52.
3. Журавлёв Л.Г. Физические методы исследования металлов и сплавов / Л.Г. Журавлёв, В.И.Филатов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. – 157 с.
4. Снежной Г.В. Магнитное состояние аустенита вблизи истинной деформационной мартенситной точки хромоникелевых сталей аустенитного класса / Г.В.Снежной // ФММ. -2011. -Т. 111. -№ 6. - С. 599-604.

*Сніжною Г.В., Жавжаров Є.Л. Автоматизована установка для визначення магнітної сприйнятливості криць та стопів. Запропоновано конструкцію автоматизованої установки для визначення магнітної сприйнятливості криць та стопів. Приводиться описання принципу дії блоків установки та її основні характеристики. В основі установки лежить мікропроцесорна система на базі мікроконтролерів AVR фірми ATMEL. Розглянуто алгоритм роботи програмного забезпечення мікропроцесорної системи для роботи установки в автоматичному режимі. Запропонована установка дозволяє отримати залежність струму компенсації зрушення зразка від струму силового поля у вигляді текстового файлу на комп'ютері.*

**Ключові слова:** магнітна сприйнятливість, метод Фарадея, автоматизація, мікропроцесорна система, автокомпенсація.

Снежной Г.В., Жавжаров Е.Л. **Автоматизированная установка для определения магнитной восприимчивости крицы и сплавов.** Предложена конструкция автоматизированной установки для определения магнитной восприимчивости крицы и сплавов. Приводится описание принципа действия блоков установки и её основные характеристики. В основе установки лежит микропроцессорная система на базе микроконтроллеров AVR фирмы ATMEL. Рассмотрен алгоритм работы программного обеспечения микропроцессорной системы для работы установки в автоматическом режиме. Предложенная установка позволяет получить зависимость тока компенсации сдвига от тока силового поля в виде текстового файла на компьютере.

**Ключевые слова:** магнитная восприимчивость, метод Фарадея, автоматизация, микропроцессорная система, автокомпенсация.

Snizhnoi G.V., Zhavzharov E.L. **Automated equipment for determining the magnetic susceptibility of steels and alloys.** Automated equipment for determining the susceptibility of steels and alloys proposed. The principle of operation of equipment units and their main characteristics are presented. Microprocessor system with AVR microcontrollers from ATMEL for equipment used. The algorithm of the program a microprocessor system for automatic operation of equipment considered. Dependence of the current compensation of the current force field as a text file on your computer equipment can be formed.

**Keywords:** magnetic susceptibility, Faraday method, automation, microprocessor system, autocompensation.